

2 Постоянные магниты: справочник / А.Б. Альтман, А.Н. Герберг, П.А. Гладышев [и др.]; под ред. Ю.М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. Энергия, 1980. – 488 с.

3 Конструирование и расчет индукционных плавильных печей: учебное пособие / С.В. Карелов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин, Б.А. Сокунов, Л.С. Грובה; под ред. С.Н. Гущина. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 165 с.

УДК 621.318.2

**А. П. Авдеев, В. И. Матюхин**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕПЛАВКИ ПОРОШКА СПЛАВА ND-FE-B**

### **Аннотация**

*В современном мире вопрос переработки вторичного сырья является актуальным по ряду причин – это стоимость чистых материалов и их ограниченное количество на российском рынке, а также проблема с утилизацией отходов в мире.*

*На производстве магнитов. После измельчения сплава из-за особенности конструкции мельницы в камере остается порошок. Масса остатка равняется составляет 25 % от начальной загрузки. В соответствии с технологическим процессом остаток порошка не может использоваться для производства магнитов, так как он состоит из более крупных частиц, чем требуется. Потери порошка, составляющие 25 % от сплава, являются существенными для данного производства. В связи с этим разработка технологии переработки вторичного сырья очень востребована.*

**Ключевые слова:** магнит, индукционная печь, сплав, редкая земля, структура.

### **Abstract**

*In today's world, the issue of recycling is relevant for a number of reasons – the cost of clean materials and their limited number on the Russian market, as well as the problem with the disposal of waste in the world.*

*In the production of magnets. After grinding the alloy, due to the design features of the mill, the powder remains in the chamber. The weight of the remainder is equal to 25 % of the initial load. According to the technological process, the powder residue can not be used to produce magnets, as it consists of larger particles than required. Powder losses of 25 % of the alloy are significant for this production. In this regard, the development of technology for processing of secondary raw materials is very popular.*

**Key words:** magnet, induction furnace, alloy, rare earth, structure.

Для того, чтобы переплавить порошок, его требуется спрессовать. Оптимальным способом прессования большого количества порошка является метод прессования в гидростатическом прессе. Этот метод не требует изготовления дорогостоящих пресс-форм и оснастки из металла, а использует резиновые матрицы, которые просты в изготовлении.

В силу того, что порошок для выплавки собирается с нескольких режимов струйного измельчения, этот порошок неоднородный по химическому составу,

поэтому рассчитать точный химический состав полученного сплава невозможно. Следовательно, чтобы получить сплав с заданным химическим составом, требуется провести две выплавки.

Первая выплавка производилась в вакуумной индукционной печи по следующей схеме. После загрузки печь вакуумировали до  $10^{-3}$  Па, производилась закачка аргона до давления  $10^3$  Па, далее плавка проводилась в среде Ar. После нагрева шихты в индукторе до температуры примерно  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  производилась дошихтовка из двух дозаторов. Далее нагревали до температуры  $1540\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После этого температуру расплава снижали до температуры разливки  $1430\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Разливка производилась на водоохлаждаемый барабан через промежуточный подогреваемый до  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  ковш в водоохлаждаемую изложницу. Сплав в виде пластинок толщиной  $0,4\text{ мм}$  отдавали на химический анализ.

При выплавке порошка есть одна особенность: по технологии получения порошка для изготовления магнитов сплав подвергается гидрированию перед измельчением, а значит, после измельчения порошок содержит остаточный водород. Поэтому при плавке в начале процесса примерно на 5 минуте из брикетов начинает выходить водород, следовательно, вакуум в печи ухудшается, при этом требуется закачать газ для проведения чистой плавки в среде аргона.

Вторая выплавка рассчитывается на основе полученного химического состава, и добавляется материалы, для получения требуемого состава сплава. Выплавка производилась в той же печи, но по другой схеме. После загрузки сплава в индуктор и дозаторы, а также шихтовых компонентов в дозаторы, печь вакуумировали до давления  $10^{-3}$  Па. После нагрева сплава в индукторе до температуры примерно  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  производилась закачка аргона до давления  $10^3$  Па, далее производилась дошихтовка из двух дозаторов. После расплава нагревали до температуры  $1540\text{ }^{\circ}\text{C}$ . После этого температуру расплава снижали до температуры разливки  $1430\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Разливка производилась через промежуточный подогреваемый до  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  ковш в водоохлаждаемую изложницу. Сплав в виде пластинок толщиной  $0,4\text{ мм}$  отдавали на повторный химический анализ.

Химический анализ сплавов после первой и второй плавки представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав сплавов

	Nd	Dy	Fe	Co	Cu	Ga	B
Сплав 1	26,8	0,9	68,2	1,0	0,11	0,1	1,0
Сплав 2	28,7	0,9	68,2	1,0	0,15	0,1	1,0

Для проверки качества сплава, из выплавленного сплава были изготовлены магниты по низкокислородной технологии. Низкокислородная технология включает в себя следующие этапы.

– Пластины сплава предварительно измельчают в ступе до размера примерно  $2 \times 2\text{ см}$ . Эти пластины загружают в печь гидрирования. Печь

вакуумируют до давления 10 Па, сплав подогревают до температуры около 200 °С, после чего запускают в камеру водород до давления 10<sup>4</sup> Па. Сплав интенсивно поглощает водород. После поглощения сплав нагревают в вакууме до температуры 550 °С и выдерживают в течение часа. При этом водород частично выходит из сплава.

- Охрупченный после гидрирования сплав подвергают измельчению на струйной мельнице в азоте до порошка со средним размером частиц 3 мкм. После этого порошок в контейнере без доступа кислорода переносят в герметичный пресс.

- Производят прессование в перпендикулярном прессе в магнитном поле величиной 16 кЭ. Полученные заготовки помещают в контейнеры для спекания. Контейнеры для спекания без доступа кислорода помещают в печь спекания.

- Печь спекания вакуумируют до давления 10<sup>-2</sup> Па, после чего нагревают в вакууме до температуры спекания 1050 °С. После двухчасовой выдержки магниты закалывают аргоном. На остывших до комнатной температуры заготовках контролируют плотность. После этого заготовки помещают в печь отжига.

- В печи отжига проводят двух ступенчатую термообработку при температурах 900 °С – 1 час, 500 °С – 2 часа. После каждой температуры производится закалка аргоном.

- Контроль основных магнитных характеристик проводится на установке Permagraph L. Измерительная установка снимает первые два квадранта петли гистерезиса с образца и на основании этих данных рассчитывает остаточную индукцию, коэрцитивную силу по намагниченности, коэрцитивную силу по индукции, максимальное энергетическое произведение.

Полученные магнитные свойства магнитов из сплава приведены в табл. 2.

Таблица 2

Магнитные свойства магнитов из сплава

	Br, кГс	bHc, кЭ	jHc, кЭ	(BH)max, МГсЭ
Сплав	14,0	10,0	12,0	38,8

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- предложен метод переработки остатков порошка от струйного измельчения;

- отработан режим переплавки прессованного порошка и получения годного сплава;

- из полученного сплава изготовлена опытная партия магнитов с удовлетворительными для производства магнитными свойствами.

### Список использованных источников

1 Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений: учеб. пособие / Н.В. Кудреватых, А.С. Волегов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2015. – 198 с.

2 Постоянные магниты: справочник / А.Б. Альтман, А.Н. Герберг, П.А. Гладышев [и др.]; под ред. Ю.М. Пятина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 488 с.

3 Конструирование и расчет индукционных плавильных печей: учебное пособие / С.В. Карелов, В.И. Матюхин, О.В. Матюхин, Б.А. Сокунов, Л.С. Грובה; под ред. С.Н. Гущина. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 165 с.

УДК 620.9

**О. В. Борисова, П. В. Осипов, В. Л. Шульман**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАСЧЕТ СХЕМЫ ПГУ-ТЭЦ ДЛЯ ГОРОДА СРЕДНЕГО УРАЛА**

### **Аннотация**

*В данной статье приведено описание разработанной в программе Ebsilon Professional тепловой схемы вариантного модуля тепловой электрической станции на базе ПГУ. Данная схема была спроектирована с учётом нужд малых городов Свердловской области с целью создания локальной энергосистемы для обеспечения населённых пунктов, не имеющих собственного источника электроэнергии, надёжным источником электроснабжения и дешёвым источником тепла. ПГУ-ТЭЦ – когенерационные парогазовые установки, выбранные в качестве генератора за способность обеспечить высокую эффективность использования топлива, маневренность, устойчивость в условиях различия колебаний тепловой и электрической нагрузки в течение суток, по сезонам, что характерно для городского потребления. В работе также указано основное и вспомогательное оборудование, выбранное для данной схемы и приведены его основные характеристики.*

**Ключевые слова:** локальная энергосистема, когенерационная парогазовая установка ПГУ-ТЭЦ, теплоэлектроцентраль ТЭЦ, когенерация, турбина с противодавлением, котёл-утилизатор.

### **Abstract**

*The description of developed engineering flow diagram made with the help of Ebsilon Professional program is given in this article. The scheme, considering the needs of small towns in the Middle Urals, is a variable module of a heat electric power station on the base of CCCP for local energy system formation. It is meant the station is a reliable source of electric energy and poor heat energy for towns that have not got own power stations yet. CCCP is a highly efficient combined-cycle cogeneration plant able to provide high fuel combustion efficiency, flexibility, stability under the conditions of difference between heat and electric energy demand variations within 24 hours, seasonably (that is typical for town's consumption). The main equipment and supporting machinery for this power station and their general properties are given in the paper.*

**Key words:** local power system, CCCP (combined-cycle cogeneration plant), CHP (Central Heating and Power) Plant, cogeneration, backpressure turbine, heat-recovery steam generator, Ebsilon Professional.

На данный момент состояние систем энергоснабжения малых городов (на примере анализа городов Свердловской области [1, 2]) характеризуется наличием существенных потерь теплоты в тепловых сетях, отсутствием